

*Пример 1.* Для железобетонной подземной оболочки с габаритными размерами в плане 30х30 м, толщиной срединной поверхности  $h=0,3$  м и стрелой подъема 1,8 м определить верхнюю предельную нагрузку. По таблице находим  $f=1,8$  м,  $\varphi = f / h = 1,8 / 0,3 = 6,0$  и размеры в плане 30х30 м. Нагрузка равна  $7,73 \text{ кН/м}^2$ .

*Пример 2.* Определить типоразмеры железобетонных подземных оболочек при толщине слоя грунта 4 м, объемном весе грунта  $15 \text{ кН/м}^3$ . Находим равномерно распределенную нагрузку на  $1 \text{ м}^2$ :  $q=4 \cdot 15=60 \text{ кН/м}^2$ . По ней устанавливаем типоразмеры: 9х9х0,6; 18х18х0,6; 12х12х0,9 м.

1. Хайдуков Г.К., Акимов Б.В. Сборная шаровая оболочка блок-камеры смотровых колодцев подземных коммуникаций // Исследования железобетонных тонкостенных пространственных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1979. – С.37-46.

2. Хайдуков Г.К. Расчет по предельным состояниям ступенчато-вспарушенных (шатровых) панелей. – М.: Госстройиздат, 1960. – 111 с.

3. Хопсметов Г.Х., Кузьмин М.А., Абдулаев Б.М. Экспериментальное исследование параметров взаимодействия подземной ребристой оболочки с грунтом при статическом нагружении // Изв. АН УзССР. Сер. техн. – 1991. – №4. – С.51-56.

4. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высш. школа, 1979. – 272 с.

*Получено 11.08.2000*

УДК 624.012:53.09

**ЭЛЬ МУТАССИМ ЛАРБИ**

*Харьковский государственный технический университет  
строительства и архитектуры*

## **К РАСЧЕТУ ОГНЕСТОЙКОСТИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

Проведено численное моделирование температурных полей в сечениях основных элементов железобетонных конструкций зданий при одно-, трех- и четырехстороннем нагреве и стандартном температурном режиме пожара. Получены данные для расчета несущей способности каркасных статически неопределимых железобетонных зданий на современных программных комплексах. Приведены графики распределения температуры в поперечных сечениях колонн и ригелей наиболее распространенных размеров.

Для расчета огнестойкости статически неопределимых монолитных железобетонных конструкций многоэтажных зданий необходимо рассчитать усилия в элементах от нормативной нагрузки, определить температурные усилия в них для различных стадий нагрева заданного участка здания, выявить характер возникновения пластических шарниров и, наконец, установить предельное состояние, характеризующееся возникновением геометрически изменяемой схемы [1]. Такие

расчеты целесообразно выполнять, используя современные программные комплексы, например, Мираж, Лира Windows, SCAD.

При оценке несущей способности сечения железобетонного элемента нужно знать распределение в нем температуры для различных моментов времени. При определении температурных усилий в рамных конструкциях с помощью программных комплексов необходимо задавать либо среднюю температуру элемента  $T$ , либо температурный перепад в виде температур на противоположных поверхностях элементов по заданному направлению  $T_1$  и  $T_2$ . Для наиболее распространенных сечений колонн, балок и плит при нагреве с четырех, трех и одной стороны в литературе приводятся температурные поля в виде карт изотерм, например, в рекомендациях [2]. Однако эти данные, несмотря на свою наглядность, неудобны для численного счета, так как требуют графической интерполяции и не содержат информации о средних температурах и температурных перепадах. Кроме того, как показывают расчеты, пластические шарниры в статически неопределимых железобетонных конструкциях образуются задолго до минимальных по времени табулированных температурных полей (карты изотерм обычно даются для 30, 60, 90, 120, 180 и 240 мин.).

По разработанной в ХГТУСА программе для ПК "FIRE" нами проведено исследование температурных полей в сечениях железобетонных элементов прямоугольного сечения на основе численного решения нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \rho c(t) = \left( \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right) \left[ \lambda(t) \left( \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} \right) \right], \quad (1)$$

в котором коэффициенты удельной теплоемкости  $c$ , кДж/(кг °С) и теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м °С) определяются зависимостями [3]

$$\lambda = 1,2 - 0,00035t; \quad (2)$$

$$c = 0,71 + 0,00083t. \quad (3)$$

Температурный режим пожарной среды принимаем по стандартной зависимости

$$t_p = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + t_0. \quad (4)$$

При нелинейном распределении температуры в сечении элемента возникают собственные температурные напряжения, которые влияют на общие температурные деформации плоского сечения. Поэтому температуры  $T$ ,  $T_1$  и  $T_2$  нужно определять с учетом этих напряжений. Точное решение здесь очень громоздко, поскольку связано с необходимостью учета физической нелинейности бетона и арматуры, ее

расположения и других факторов. С достаточной для инженерных задач достоверностью эти параметры можно найти из упругого решения, которое сводится к построению эквивалентных трапециевидных температурных эпюр, равных реальным по площади и статическому моменту. Для этой цели предлагаем воспользоваться линейной аппроксимацией зависимостей с помощью табличного процессора Excel for Windows.

Для симметричного температурного поля, например, показанного на рис.1, достаточно определить среднюю по сечению температуру  $T$ .

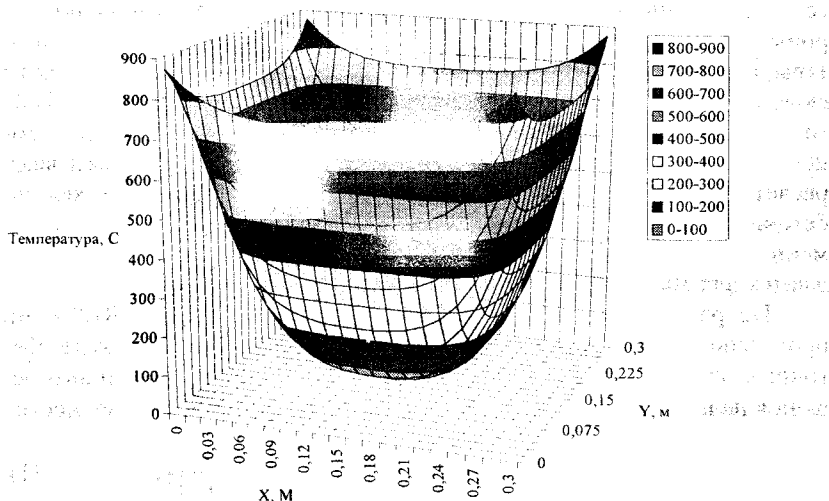


Рис.1 – Температурное поле в сечении колонны 300х300 мм при четырехстороннем нагреве (45 мин.)

Для такого же несимметричного поля (рис.2) строим график распределения температуры по высоте сечения, вводим линию тренда – “регрессию”, выводим формулу линейной аппроксимации, из которой находим граничные температуры  $T_1$  и  $T_2$ . Табличный процессор для аппроксимации использует метод наименьших квадратов, т. е. решает поставленную задачу. Для двумерных температурных полей с односторонней симметрией (рис.3) определяем средние температуры слоев по направлению симметрии, затем строим график распределения средних температур по высоте сечения и находим температуры  $T_1$  и  $T_2$  описанным способом.

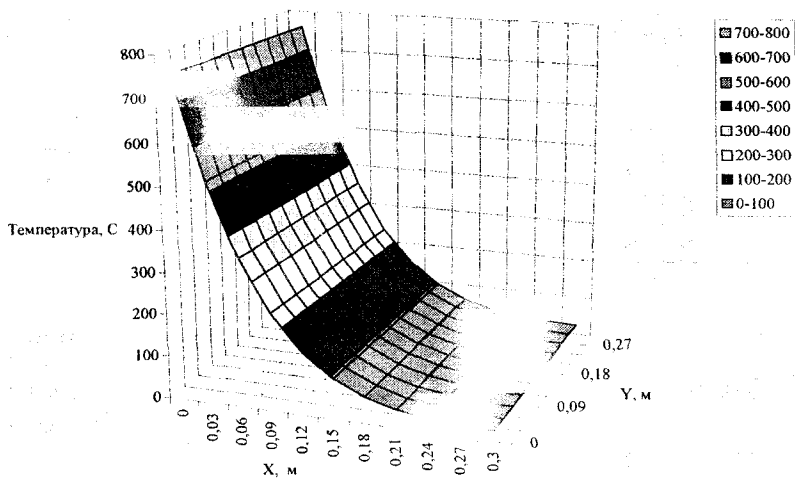


Рис.2 – Температурное поле в сечении колонны 300х300 мм при одностороннем нагреве (45 мин.)

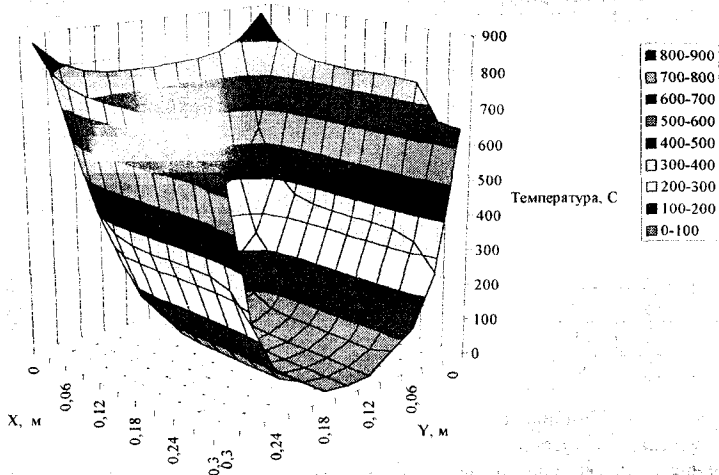


Рис.3 – Температурное пол в сечении колонны 3000х300 мм при трехстороннем нагреве (45 мин.)

По разработанной методике составлены таблицы для расчета железобетонных каркасов наиболее распространенных сечений.

#### Нагрев с четырех сторон

Сечение, мм	Средняя температура $T$ , °C для времени нагрева $\tau$ , мин.									
	5	10	15	30	45	60	90	120	180	240
300x300	77	128	173	274	357	423	528	620	758	862
400x400	68	111	147	232	296	350	437	481	629	724

#### Нагрев с трех сторон

Сечение, мм	Температура	Температурный перепад ( $T_1, T_2$ , °C) для времени нагрева $\tau$ , мин.									
		5	10	15	30	45	60	90	120	180	240
300x300	$T_1$	129	225	301	461	564	640	738	804	891	951
	$T_2$	4	7	12	-5	18	49	121	195	327	434
400x400	$T_1$	120	208	274	413	504	575	677	749	844	908
	$T_2$	10	0	-12	-16	-11	2	37	79	169	255
300x400	$T_1$	130	225	298	455	558	632	733	800	889	950
	$T_2$	0	-12	-19	-20	-3	22	88	157	286	396

#### Односторонний нагрев

Толщина, мм	Температура	Температурный перепад ( $T_1, T_2$ , °C) для времени нагрева $\tau$ , мин.									
		5	10	15	30	45	60	90	120	180	240
60	$T_1$	176	298	393	573	682	760	861	921	989	1029
	$T_2$	-24	-35	-23	73	172	245	324	359	384	394
100	$T_1$	141	243	326	497	603	677	782	857	959	1021
	$T_2$	-25	-54	-71	-73	-37	11	106	177	259	297
200	$T_1$	105	178	239	373	467	540	648	726	832	907
	$T_2$	-15	-43	-65	-104	-124	-132	-129	-109	-53	7
300	$T_1$	113	199	270	425	530	607	714	786	884	954
	$T_2$	-18	-49	-72	-106	-114	-105	-63	-4	123	245
400	$T_1$	88	146	187	272	336	387	469	533	635	712
	$T_2$	-9	-33	-50	-83	-106	-122	-145	-160	-176	-181

1. Фомин С. Л. Методика расчета огнестойкости и остаточной прочности статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом полной диаграммы "σ-ε" // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 8. – К.: Техника, 1997. – С. 16-19.

2. Рекомендации НИИЖБ по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с.

3. Рекомендации НИИЖБ по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 40 с.

Получено 17.08.2000